

ANÁLISE DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR PARA EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

Vinicius de Vargas Heck – viniciusheck@hotmail.com
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Física.

Resumo. Em razão do incremento da demanda de energia elétrica e também frente às mudanças climáticas que afetam as cidades e edificações em uma era de aumento de preços da energia, torna-se cada vez mais necessária a utilização de conceitos sustentáveis em projetos de edificações residenciais. Neste trabalho, é apresentado o estudo de um projeto residencial planejado para a utilização da energia solar. Dentre as energias renováveis disponíveis e conhecidas buscou-se implantar o dimensionamento e o estudo técnico-financeiro para viabilidade de construções eficientes utilizando sistemas fotovoltaicos e sistemas de aquecimento solar de água. A opção de utilização destes sistemas está vinculada com o investimento e, desta forma, o presente trabalho visou esclarecer e indicar vantagens e desvantagens na utilização de um sistema fotovoltaico suprimindo toda a demanda energética da residência frente a um sistema híbrido, com parte da energia sendo fornecida por um sistema de aquecimento solar. Como resultados e conclusões, verificou-se a viabilidade técnica e financeira na compra e instalação de um sistema fotovoltaico conectado a rede suprimindo toda demanda energética da residência, ao invés da utilização de um sistema híbrido.

Palavras-chave: Energia solar, Sistemas fotovoltaicos, Edificações residenciais sustentáveis.

1. INTRODUÇÃO

A ampliação no uso de energias renováveis, sustentáveis e com o mínimo de impactos socioambientais desde a concepção de um projeto residencial é um dos desafios para todos os profissionais envolvidos neste mercado. Atualmente, com o crescente uso de aparelhos e dispositivos elétrico/eletrônicos e o aumento no preço da energia elétrica, surge a necessidade de busca de novas fontes de energia bem como alternativas para redução de custos.

Diante deste cenário, a utilização de energias renováveis, especialmente em habitações residenciais, surge como alternativa para redução nos custos e no consumo de energia elétrica, sobretudo do ponto de vista da disponibilidade do recurso solar, eólico (dependendo da localização) e pluviométrico. O aumento do interesse sobre o tema sustentabilidade no Brasil juntamente com as ações da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) voltadas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz energética brasileira e o crescimento do mercado consumidor de componentes e dispositivos para aproveitamento de energias renováveis, criam um cenário favorável para estudos, aplicações e novas alternativas para o uso e aproveitamento de energias renováveis principalmente em habitações residenciais.

2. OBJETIVO

Este trabalho trata de um estudo técnico comparativo para aproveitamento da energia solar, focando na utilização de sistemas fotovoltaicos e térmicos em uma residência familiar planejada para atender 4 (quatro) pessoas. O presente trabalho apresenta o projeto, dimensionamento e análise de viabilidade financeira entre a aplicação de sistemas fotovoltaicos conectados a rede (SFCR) e sistemas de aquecimento de água (SAS) na edificação planejada e a ser construída no município de Vera Cruz – RS.

Como principais tópicos do projeto são apresentados detalhes e resultados de três cenários, de modo que: em a) compara-se o custo x benefício entre a utilização de um SFCR fornecendo toda a demanda de energia elétrica necessária à residência, em b) utiliza-se um sistema híbrido de SFCR com SAS com coletores solares planos para fornecimento de energia necessária para suprimento de água quente e, por fim, em c) é apresentado outro cenário híbrido com SFCR e SAS composto de coletores a vácuo.

3. ASPECTOS DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO

3.1 A casa e sua posição

O terreno escolhido para a residência planejada está localizado na cidade de Vera Cruz município localizado na região central do estado do Rio Grande do Sul. O clima típico nesta região é o subtropical que apresenta verões quentes e longos e invernos curtos e úmidos com cerca de 1323 mm de precipitações anuais (Climate-data, 2017). Trata-se de

um terreno plano com as seguintes dimensões: 12 x 33 m com frente para orientação leste. A Fig. 1 apresenta a posição do terreno com seus dados de latitude e longitude.

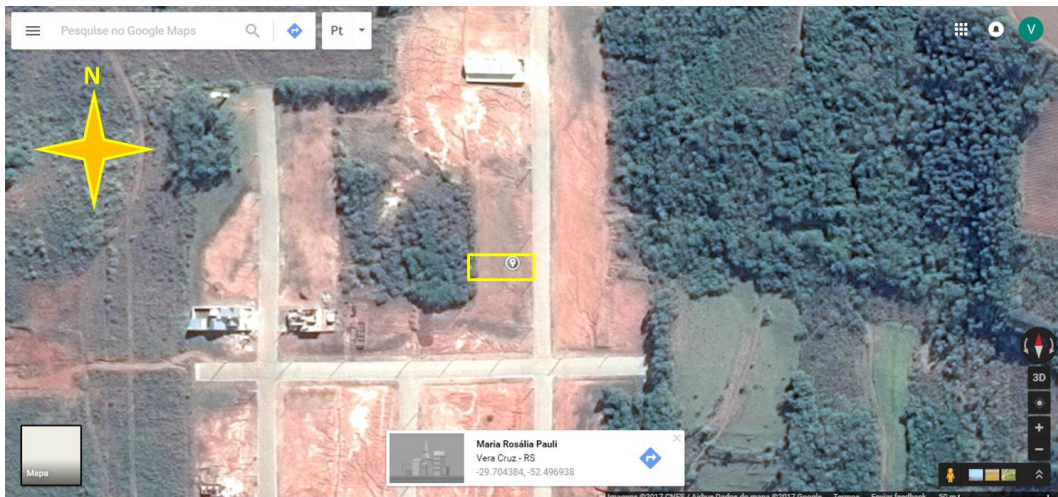


Figura 1 – Localização do terreno escolhido para construção da residência (Fonte: www.google.com.br/maps).

A casa é planejada com dois pavimentos e planta retangular, no térreo esta localizada a garagem, cozinha, lavanderia, sala de estar, três dormitórios, dois banheiros, um lavabo e área de lazer. No pavimento superior, um escritório e uma sacada, de acordo com a Fig. 2.

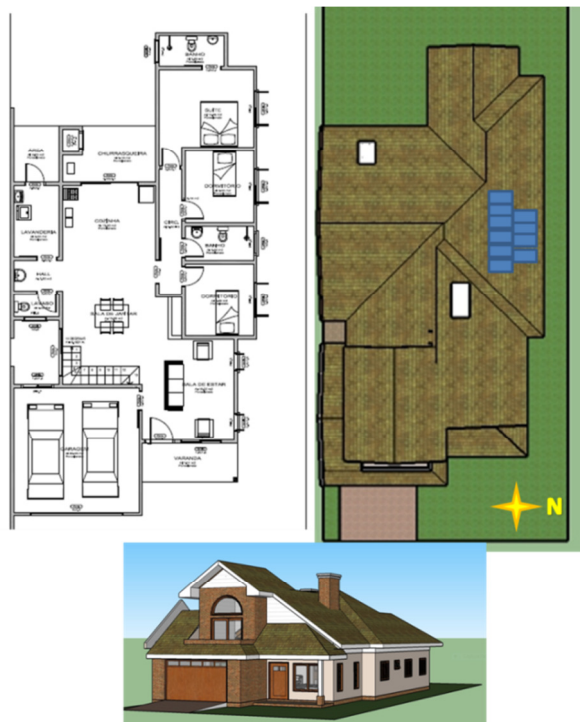


Figura 2 – Residência planejada (Fonte: autor).

3.2 Sistema fotovoltaico conectado a rede elétrica

Para a edificação residencial foi estudado a utilização de SFCR, pois o propósito da residência é o aproveitamento da energia solar, a futura casa esta localizada em bairro novo sem interferências laterais que podem causar pontos de sombreamento e possui acesso fácil à rede elétrica. Outro ponto considerado foi à disponibilidade e diversas opções de marcas e fornecedores de sistemas fotovoltaicos localizados na cidade ou na região. Apesar de ser um alto investimento inicial para compra e instalação o SFCR visa à economia financeira no longo prazo, pois visa atender a demanda energética da residência descontada a taxa de disponibilidade cobrada pela concessionária elétrica.

Para a análise inicial e utilização de energias renováveis no projeto residencial, parte-se para tecnologia fotovoltaica que avança de forma intensa em diversas regiões do Brasil, principalmente após a Resolução Normativa

Aneel N° 482/2012. Esta resolução visa incentivar e promover o uso de sistemas fotovoltaicos, definindo os sistemas em micro geração (potência de até 75 kW) e mini geração (potência superior a 75 kW e até 5 MW).

Os sistemas fotovoltaicos (FV) são um conjunto de elementos composto por arranjo(s) fotovoltaico(s) podendo incluir: dispositivos para controle, condicionamento, supervisão, proteção e armazenamento de energia elétrica, fiação, fundação e estrutura para suporte.

Além de produzir eletricidade os sistemas FV possuem as seguintes vantagens:

- São sistemas silenciosos;
- Confiáveis, seu tempo de vida médio é de 20 anos;
- A energia é produzida in loco, assim há baixa perda com transmissões;
- Requerem baixo custo com manutenção;
- Modulares, podem ser deslocados, com a possibilidade de aumentar a potência instalada.

3.2.1 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

O projeto de SFCCR consiste em dimensionar o arranjo fotovoltaico iniciando pela determinação da potência do arranjo. De acordo com a Eq. (1), a potência do pico do arranjo FV (W_P) é a razão entre o consumo diário médio anual da edificação (E) ou fração deste (W_h/dia) pelo desempenho global do inglês *Performance Ratio* (PR) pela razão média diária anual das HSP (horas de sol pleno) incidente no plano do painel FV.

$$P_{FV} (W_P) = \frac{(E/PR)}{HSP_{MD}} \quad (1)$$

Aplicando a Eq. (1), para determinação da potência de pico do arranjo FV tem-se que:

$$P_{FV} (W_P) = \frac{(9,82/0,75)}{4,14} = 3,16 \text{ kWp}$$

Para este cálculo foi considerado que a PR é igual a 75 %. Para determinação do consumo diário médio anual foi levado em conta à projeção de consumo anual da futura residência (consumo mensal médio de 298 kWh/mês), quanto à média diária de horas de sol pleno foi utilizada a média da irradiação mensal (conforme Tab. 1).

O local a ser construída a edificação residencial possui as seguintes características latitude (-29,70 graus) e longitude (-52,49 graus) os dados de irradiação média (em kWh/m² por dia) foram obtidos pelo programa computacional *Radiasol 2* (UFRGS, 2017). Neste software o usuário pode definir o ângulo de inclinação e o ângulo de orientação azimutal dos módulos e buscar no banco de dados os valores de irradiação diária média mensal sobre um plano horizontal. Como para a cidade de Vera Cruz não há dados disponíveis de irradiação no Radiasol, optou-se por selecionar uma cidade que esteja mais próxima e que possua dados no software Radiasol, entre as cidades de Porto Alegre/RS e Santa Maria/RS, foram assumidos os dados da cidade de Santa Maria/RS (altitude de 113 metros) distante aproximadamente 130 km e que possui menor diferença de altitude em relação à cidade de Vera Cruz/RS (altitude 68 metros). A Tab. 1 apresenta a irradiação média mensal para a cidade de Santa Maria/RS.

Tabela 1 – Irradiação média mensal para cidade de Santa Maria/RS (Fonte: Radiasol, 2017).

Irradiação Média (kWh/m ² /dia)				
Mês	Global	Direta	Difusa	Inclinada
1	6,31	2,55	2,56	5,27
2	5,56	2,39	2,67	5,21
3	4,82	2,7	2,42	5,24
4	3,56	2,31	1,99	4,39
5	2,9	2,45	1,66	4,18
6	2,29	1,7	1,65	3,42
7	2,51	1,97	1,64	3,68
8	3,17	2,16	1,94	4,19
9	3,97	2,27	2,17	4,54
10	4,98	2,28	2,48	4,9
11	6	2,44	2,6	5,21

Para a determinação do consumo médio mensal projetado para a edificação foram levados em conta todos os equipamentos/eletrodomésticos que a casa irá necessitar e seu respectivo consumo energético. Pelo consumo médio projetado na Tab. 3 (486 kWh/mês), a ligação elétrica será do tipo trifásico com tensão de nominal de 220 V (Volts). Para esta unidade consumidora e região estabelecida à empresa responsável pela distribuição é a RGE Sul Distribuidora de Energia S.A e a taxa de disponibilidade é de 100 kWh/mês (ANEEL, 2017) esta taxa deve ser descontada do consumo médio anual de energia elétrica.

Como o objetivo do SFCCR da residência é o mínimo consumo de energia provinda da concessionária elétrica, o sistema foi dimensionado para atender um pico de potência do arranjo fotovoltaico de 3,16 kWp. Os módulos escolhidos foram o modelo Jinko Solar 315 W (www.jinkosolar.com) e o inversor fotovoltaico *on grid* Moso com wifi

de 3,0 kW (www.minhacasasolar.com.br). A escolha destes componentes foi baseada no melhor custo/benefício e disponibilidade dos mesmos em lojas especializadas na cidade ou em cidades próximas.

Tabela 2 – Dados técnicos do módulo FV (Fonte: www.jinkosolar.com).

Módulo solar Jinko JKM 315 P		
	STC	NOCT
Potência de pico (P _{max})	315 W _p	233 W _p
Tensão máxima potência (V _{mp})	37,2 V	34,7 V
Corrente de máxima potência (I _{mp})	8,48 A	6,71 A
Tensão de circuito aberto (V _{oc})	46,2 V	42,8 V
Corrente de curto circuito (I _{sc})	9,01 A	7,28 A
Eficiência do módulo (%)	16,23%	

Tabela 3 – Relação de equipamentos e demanda energética da residência (Fonte: autor).

Consumo Projetado - Nova Residência					
Cargas Elétricas	quantidade	Potência (W)	Horas/mês	Watts-hor/mês	% consumo
Máquina Lavar	1	650	16,0	10400,0	2,14%
Secadora Roupa	1	2000	8,0	16000,0	3,29%
Fogão	1	50	0,3	13,3	0,00%
Chaleira elétrica	1	1200	2,0	2400,0	0,49%
Geladeira	1	1900	720,0	67300,0	13,83%
Televisor	2	85	180,0	30600,0	6,30%
Cafeteira	1	1500	0,5	800,0	0,16%
DVD	1	45	3,0	135,0	0,03%
Aparelho Sky	1	50	100,0	5000,0	1,03%
Laptop	1	75	35,0	2625,0	0,54%
Aparelho Som	1	30	5,0	150,0	0,03%
Chuveiro	2	6400	15,0	192000,0	39,51%
Secador de cabelo	1	2200	4,0	8800,0	1,81%
Barbeador elétrico	1	80	1,0	80,0	0,02%
Ar condicionado	2	1000	30,0	60000,0	12,35%
Celulares	2	20	40,0	1600,0	0,33%
Microrondas	1	620	3,0	1860,0	0,38%
Lâmpadas	7	60	150,0	63000,0	12,96%
Liquidificar	1	700	0,0	0,0	0,00%
Aquecedor	1	1500	0,0	0,0	0,00%
Ferro passar roupa	1	1200	4,0	4800,0	0,99%
Motor portão eletrônico	1	1200	0,2	240,0	0,05%
Bomba cisterna	1	900	8,0	7200,0	1,48%
Torneira elétrica	1	5500	2,0	11000,0	2,26%
Total aprox.			W/mês	486003,7	100%
			W/dia	16200,1	
			kWh/mês	486,00	

As potências do arranjo fotovoltaico e do inversor escolhido devem ser compatíveis, desta forma para o correto dimensionamento do inversor, deve-se calcular o FDI (fator de dimensionamento do inversor) conforme a Eq. (2). O resultado do FDI deve estar entre 0,85 a 1,05 (adimensional). Para cálculo do FDI são levadas em considerações a potência nominal em corrente alternada (W) e a potência total máxima do arranjo (W_p) fotovoltaico.

$$FDI = \frac{P_{CA-INV} (W)}{P_{PV} (W_p)} = \frac{3000 W}{315 \cdot 10} = 0,952 \quad (2)$$

O inversor é necessário nos sistemas fotovoltaicos residenciais para converter a energia produzida pelas células fotovoltaicas de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), comumente utilizada em eletrodomésticos em geral. Como raramente os módulos fotovoltaicos fornecem sua energia nominal conforme resultados (Programa Alemanha 1000 telhados, 1995) os inversores podem ser subdimensionados em relação à capacidade máxima de produção para redução de custos, isto em situações em que a potência instalada é muito superior à potência produzida em decorrência de fatores como posicionamento e temperatura.

A área a ser disponibilizada para instalação deve ser orientada para o norte geográfico (hemisfério sul) e para dimensionamento da área a ser disponibilizada é utilizada a Eq. (3). Esta equação determina a área necessária para o sistema fotovoltaico (A_{FV}) em metros quadrados, razão entre a potência de pico do arranjo fotovoltaico (P_{FV}) pelo rendimento do módulo (n_{FV}) solar escolhido conforme dados técnicos do módulo.

$$A_{FV} = \frac{P_{FV}}{n_{FV}} = \frac{3,16}{0,1623} = 19,48 m^2 \quad (3)$$

Desta forma a área a ser disponibilizada para o arranjo fotovoltaico será de aproximadamente 20 m².

Para a instalação dos módulos solares do SFCR deve-se observar o melhor direcionamento para o sol. Desta forma, na residência que possui um telhado de telhas de barro que exige inclinação mínima de 37 %, é recomendado para potencializar a produção de energia ao longo do ano, que os módulos sejam inclinados com um ângulo igual à latitude do terreno em relação a horizontal.

Outros pontos importantes a serem observados são:

- Peso total do arranjo fotovoltaico (265 kg = 10 módulos, mais estrutura metálica, cabeamento, eletrodutos), para certificação que a estrutura do telhado seja resistente a esta carga;

➤ Áreas de sombreamentos.

A existência de fontes de sombreamento tais como árvores e edifícios, causa uma diminuição da energia produzida, acarretando diminuição da eficiência do módulo ocasionando um elevado custo financeiro e comprometendo o planejamento para amortização do investimento efetuado. Contudo como trata-se um loteamento novo e expansão não há árvores ou construções de grande porte próximas a futura residência que possam ocasionar áreas de sombreamento.

3.3 Sistema solar de aquecimento de água para a residência

Como a utilização de água quente para consumo em chuveiros e demais necessidades na futura residência demanda uma grande quantidade de energia elétrica (em torno de 43% da demanda elétrica, chuveiros e torneiras elétricas), analisou-se a utilização de um SAS para suprimento destas demandas.

Os SAS coletam a energia da radiação solar e a transformam em calor, que é então distribuído por meio de ar ou água quente até o local onde será utilizado ou armazenado para uso posterior. Um sistema solar de aquecimento de água consiste numa associação de coletores solares, um ou mais reservatórios térmicos, um sistema de tubulações e, quando necessário, uma bomba de circulação. Para a distribuição da água quente que circula do coletor para o reservatório ou ponto de uso, a água pode ser conduzida de duas formas: circulação por gravidade (termossifão) ou circulação forçada. Para o uso na residência em estudo, foi escolhido o sistema de termossifão, pois com este sistema não é necessário à instalação de sistema de bombeamento da água.

Para a residência ampliar seu propósito sustentável foi realizado a análise e dimensionamento de um SAS para fornecimento de água quente orientado para lado norte, pois é uma tecnologia segura que também utiliza energia limpa e gratuita do sol.

3.3.1 Dimensionamento do sistema de aquecimento solar

Para o dimensionamento do SAS para a residência, foram identificados os seguintes pré-requisitos:

- Perfil de consumo dos habitantes da residência;
- Pré-dimensionamento, dados meteorológicos e regras básicas;
- Visita técnica, análise do espaço físico e simulações de sombra;
- Dimensionamento detalhado;
- Análise econômica.

Primeiramente, iniciou-se o estudo pelo perfil de consumo de água quente da residência e consultando a normas técnicas disponíveis, por exemplo, NBR 15569 - sistema de aquecimento solar de água em circuito direto - projeto e instalação, pode-se determinar o consumo de água quente necessária para a residência.

A Tab. 4 apresenta o perfil de consumo de água de quente da residência, detalham-se os locais necessários, consumo em litros, ciclo diário de utilização por pessoa, volume de consumo total e temperatura de consumo.

Tabela 4 – Perfil de consumo da residência.

Peças	Quantidade	Consumo (l/min)	ciclo diário (min/pessoa)	Numero de pessoas	V_consumo (l)	Temperatura de Consumo (t)
Ducha	1	10	10	4	400	40
Pia da Cozinha	1	3	3	4	36	40
Tanque da Lavadeira	1	0	2	4	0	40
Pia dos banheiros	2	2	2	4	32	40
TOTAL					468	

O volume de armazenagem é uma característica chave do sistema solar de aquecimento de água. Sem o armazenamento, a água quente estaria disponível somente quando o sol estivesse brilhando. O reservatório permite que o sistema possa fornecer água quente quando necessário independente da hora do dia.

A armazenagem pode ser dimensionada pela Eq. (6), que é a razão volume de consumo ($V_{consumo}$), temperatura consumo ($T_{consumo}$) e temperatura ambiente (T_{amb}) da água pela temperatura de armazenagem (T_{armaz}) e temperatura ambiente (T_{amb}):

$$V_{armaz} = \frac{V_{consumo} * (T_{consumo} - T_{amb})}{(T_{armaz} - T_{amb})} \quad (6)$$

Estabelecendo os parâmetros de temperatura de consumo (40 graus), temperatura ambiente média anual (20 graus) e temperatura armazenagem (45 graus), chega-se a um volume de armazenagem (V_{armaz}) de 374,4 litros, o que corresponde a 80 % do volume de consumo. De acordo com a norma NBR 15569, o recomendado é que o volume do reservatório seja capaz de armazenar 75 % do volume de consumo, contudo optou-se por um reservatório de 500 litros que é um modelo disponível no mercado.

Outro requisito importante para o dimensionamento do SAS é o cálculo da demanda de energia útil e perdas, dados pela Eq. (7):

$$E_{\text{útil}} = \frac{V_{\text{armaz}} * C_p * \rho * (T_{\text{armaz}} - T_{\text{amb}})}{3600} = \frac{374,4 * 0,0001 * 11,63 * (45 - 20)}{3600} = 10,88 \text{ kWh/dia.} \quad (7)$$

O cálculo da perda de energia é determinado em 15 % da energia útil ($E_{\text{útil}}$) e, desta forma, tem-se que $E_{\text{perda}} = 1,63 \text{ kWh/dia}$. Outro critério importante no dimensionamento é a relação da Produção Média Diária de Energia Específica (PMDEE) em kWh/m².dia que é calculada pela Eq. (8):

$$PMDEE = 4,901 * (Fr\tau\alpha - 0,0249 * Fr_{ul}) \quad (8)$$

Contudo para determinação da PMDEE é necessário indicar os dados do coletor solar escolhido para o sistema. Por disponibilidade de mercado e preço foi selecionado o coletor solar da marca Transsen modelo Ônix 2.0 (www.transsen.com.br).

Desta forma, com os dados do coletor solar tipo plano determinado, é aplicada a Eq. (8) e obtém-se o seguinte resultado do PMDEE = 2,82 kWh/dia. Entretanto, para determinação da área total de coleta necessária para o fornecimento de energia térmica é necessária a determinação do FC_{instal} conforme Eq. (9), que é um dos fatores necessário para determinação da área total de coleta.

$$FC_{\text{instal}} = \frac{1}{1 - [1,2 * 10^{-4} * (\beta - \beta_{\text{ótimo}})^2 + 3,5 * 10^{-5} * \beta^2]} \quad (9)$$

Aplicando a Eq. (9), temos o FC_{instal} que é igual a 1,033. Com estes parâmetros definidos e calculados, pode-se partir para a determinação da área total necessária para coleta de energia térmica, determinada pela Eq. (10):

$$A_{\text{coleta}} = \frac{(E_{\text{útil}} + E_{\text{perdas}}) * FC_{\text{instal}} * 4,901}{PMDEE * I_G} \quad (10)$$

O resultado da Eq. (10) é de uma área aproximada de 6 m² e que será atendida por três coletores solares planos da marca Transsen modelo Ônix 2.0. Contudo, para uma melhor tomada de decisão e escolha entre as tecnologias de coletores solares, foi realizada uma análise comparativa entre coletor solar plano e coletor solar a vácuo.

3.3.2 Coletor solar de placa plana

O coletor solar de placa plana é um equipamento que absorve a energia da radiação do sol, converte em calor e transfere esse calor para um fluido de trabalho (geralmente água) que está passando pelo coletor.

Uma ilustração com os principais componentes de um coletor solar de placa plana é apresentada na Fig. 3.

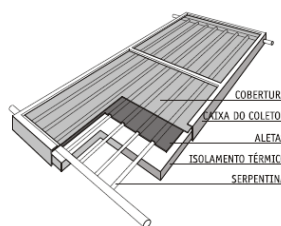


Figura 3 – Coletor solar de placa plana (Fonte: Aquesol, 2017).

Coletores planos possuem uma grande variedade de modelos e são feitos de materiais diversos. Eles são usados para aquecer fluidos de trabalho como a água, água mais aditivo, anti-congelamento ou ar, seu objetivo é coletar o máximo de energia possível com um baixo custo.

3.3.3 Coletor de tubos a vácuo ou evacuado

Coletores solares de tubos de calor evacuados operam diferentemente dos coletores de placa plana. Estes coletores solares consistem de um tubo de calor ou termossifão dentro de um tubo selado a vácuo, conforme Fig. 4. O invólucro de vácuo reduz a perda por convecção e condução, então os coletores podem operar em temperaturas mais altas do que os coletores de placa plana. Além disso, os tubos de calor ou termossifões operam utilizando a mudança de fase do fluido de trabalho, fazendo com que a transferência de calor seja intensificada.

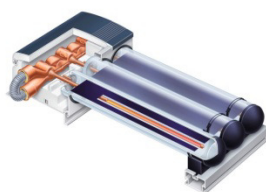


Figura 4 – Tubo a vácuo (Fonte: www.archiexpo.com, 2017).

Foi realizada uma análise técnica e financeira entre o coletor evacuado do fabricante Unisol modelo 20 tubos (www.transsen.com.br) e o coletor solar plano da marca Transsen. A análise é apresentada no próximo item deste trabalho.

3.3.4 Análise técnica entre coletor de placa plana e coletor evacuado

Na presente análise foram utilizadas as equações apresentadas no item 3.3.1. Desta forma, pode-se analisar o desempenho e demais dados entre os dois tipos de coletores para melhor determinação entre a tecnologia de aquecimento solar que atenderá a demanda residencial com o melhor custo/benefício.

Do ponto de vista técnico, a Tab. 5 detalha os dados técnicos após os cálculos utilizando as equações apresentadas entre os dois tipos de coletores solares analisados.

Tabela 5 – Comparativo técnico dos coletores plano e evacuado.

Tipo de Coletor - SAS	Fabricante	Modelo	F _{rra}	F _{rel}	V _{armazenamento} (l)	Temperatura de Consumo (t)	E útil (kWh/dia)	E perdas (kWh/dia)	PMDEE (kWh/m ² dia)	F _c instal	Área coleta (m ²)
Plano	TRANSSSEN	ÔNIX 2.0	0,82	9,80	374,40	40	10,886	1,633	2,823	1,0330	5,83
Evacuado	UNISOL	20 TUBOS	0,77	5,36	374,40	40	10,886	1,633	3,110	1,0330	5,29

Como pode ser visto na Tab. 5 do ponto de vista técnico o coletor solar evacuado possui melhor desempenho na produção média de energia e necessita menor área de coleta em relação ao coletor solar plano.

4. RESULTADOS

4.1 Análise econômica do sistema fotovoltaico conectado a rede

Com os resultados do dimensionamento apresentados no item 3.1, foi realizada a avaliação econômica do SFCR projetado para a casa. Para melhor análise dos resultados e economia financeira que o sistema pretende atingir foi construída a Tab. 6. Nesta tabela constam os principais dados de consumo elétrico da residência projetado, produção do sistema fotovoltaico, balanço energético da residência (projeção da energia consumida x projeção da energia produzida) e simulação financeira com projeção da conta de energia elétrica sem o sistema fotovoltaico (FV) e com o sistema FV instalado, bem como a estimativa de ganho financeiro. O valor da tarifa de energia elétrica utilizada foi a do mês de setembro de 2017, que para tal classe é R\$ 0,72/kWh (com impostos).

Tabela 6 – Tabela de análise econômica do SFCR para a residência (sem SAS).

Meses	Projetado FV - Residência								Financeira		
	Consumo Total (kWh/mês)	Consumo Projeto (kWh/mês)	Consumo Projeto (kWh/dia)	Potencia necessária (kWp)	Potencia gerada dia (kWh/dia)	Energia gerada mês (kWh)	Crédito Mensal (kWh)	Crédito Mensal acumulativo (kWh)	Fatura sem FV	Fatura com FV	Diferença
1	414,26	314,26	10,14	2,47	13,52	419,01	104,75	104,75	R\$ 299,10	R\$ 72,20	R\$ 226,90
2	430,46	330,46	11,80	3,03	15,74	440,61	110,15	214,91	R\$ 310,79	R\$ 72,20	R\$ 238,59
3	435,09	335,09	10,81	3,21	14,41	446,79	111,70	326,60	R\$ 314,13	R\$ 72,20	R\$ 241,93
4	356,40	256,40	8,55	3,09	11,40	341,87	85,47	412,07	R\$ 257,32	R\$ 72,20	R\$ 185,12
5	356,40	256,40	8,27	3,83	11,03	341,87	85,47	497,54	R\$ 257,32	R\$ 72,20	R\$ 185,12
6	467,49	367,49	12,25	7,13	16,33	489,99	122,50	620,03	R\$ 337,53	R\$ 72,20	R\$ 265,33
7	430,46	330,46	10,66	5,55	14,21	440,61	110,15	730,19	R\$ 310,79	R\$ 72,20	R\$ 238,59
8	324,00	224,00	7,23	3,15	9,63	298,67	74,67	804,86	R\$ 233,93	R\$ 72,20	R\$ 161,73
9	391,12	291,12	9,70	3,49	12,94	388,16	97,04	901,89	R\$ 282,39	R\$ 72,20	R\$ 210,19
10	324,00	224,00	7,23	2,09	9,63	298,67	74,67	976,56	R\$ 233,93	R\$ 72,20	R\$ 161,73
11	361,03	261,03	8,70	2,09	11,60	348,04	87,01	1063,57	R\$ 260,66	R\$ 72,20	R\$ 188,46
12	486,00	386,00	12,45	2,70	16,60	514,67	128,67	1192,24	R\$ 350,89	R\$ 72,20	R\$ 278,69
	4776,72	3576,72	9,82	3,16		4768,96		7845,22	R\$ 3.448,79		R\$ 2.582,39

Como parte da análise de viabilidade econômica do SFCR, é apresentado na Tab. 7 o investimento inicial com os principais componentes e materiais do SFCR para a residência planejada. Os valores apresentados são baseados em orçamentos e pesquisas com fornecedores especializados e estão sujeitos a variações de mercado.

Tabela 7 – Valores de investimento para o SFCR para residência.

Descrição componente	Valor unitário	Quant	Total (RS)
Painel solar Jinko solar (315 Wp)	R\$ 700,00	10,00	R\$ 7.000,00
Inversor	R\$ 5.800,00	1	R\$ 5.800,00
Componentes elétricos (disjuntor, DPS, painel)	R\$ 400,00	1	R\$ 400,00
Condutores	R\$ 1,80	150	R\$ 270,00
Serviço instalação (10%)	R\$ 1.559,00		R\$ 1.559,00
TOTAL			RS 17.149,00

Conforme apresentado o valor anual projetado com a economia de energia elétrica é R\$ 2.582,39, conforme Tab. 6, com o SFCR de 10 (dez) módulos fotovoltaicos instalados. Com a economia projetada e valor do investimento inicial do SFCR é possível determinar o tempo de retorno do investimento que é de 6,64 anos, também denominado de *payback* simples. Neste cálculo de tempo de retorno de investimento, não foram levados em conta os custos de manutenção do sistema após operação. Portanto, o investimento é atrativo, pois o tempo de retorno do investimento representa menos de um terço da vida útil dos módulos que é em média de 20 anos.

4.2 Análise econômica do sistema de aquecimento solar

Para a análise financeira do sistema de aquecimento solar foram utilizadas as seguintes premissas:

- A energia elétrica demandada pelos dois chuveiros elétricos e torneira elétrica, será provida pelo SAS, desta forma o consumo elétrico destes equipamentos foi descontado do consumo energético total da residência. Com o desconto da demanda energética dos dois chuveiros e torneira elétrica, a demanda de energia elétrica da residência que será suprida pelo sistema fotovoltaico é reduzida em 42 % (conforme apresentado na Tab. 3).

A Tab. 8 apresenta a análise de um sistema híbrido com a utilização de um sistema fotovoltaico e sistema de aquecimento solar. Com a utilização do SAS exclusivamente para suprimento de água quente para os chuveiros e torneira da cozinha, o sistema fotovoltaico foi dimensionado para atender as demais cargas elétricas da residência. Desta forma, foi realizado novo dimensionamento do sistema fotovoltaico utilizando as equações do item 3.2.1, tem-se que serão necessários 4 (quatro) módulos da mesma marca Jinko 315 Wp, no entanto o inversor será de um modelo de menor capacidade para atender uma potência de pico de 1,5 kW.

Tabela 8 – Tabela de análise econômica SAS associado à SFCR na residência.

Meses	Projetado FV (sem demanda energética de chuveiros e torneira elétrica)							Financeira			
	Consumo Total (kWh/mês)	Consumo Projeto (kWh/mês)	Consumo Projeto (kWh/dia)	Potencia necessária (kWp)	Potencia gerada dia (kWh/dia)	Energia gerada mês (kWh)	Crédito Mensal (kWh)	Crédito Mensal acumulativo (kWh)	Fatura sem FV	Fatura com FV	Diferença
1	241,23	141,23	4,56	1,11	8,10	188,30	47,08	47,08	R\$ 174,17	R\$ 72,20	R\$ 101,97
2	250,66	150,66	5,38	1,38	9,57	200,88	50,22	97,30	R\$ 180,98	R\$ 72,20	R\$ 108,78
3	253,36	153,36	4,95	1,47	8,79	204,47	51,12	148,41	R\$ 182,92	R\$ 72,20	R\$ 110,72
4	207,54	107,54	3,58	1,30	6,37	143,38	35,85	184,26	R\$ 149,84	R\$ 72,20	R\$ 77,64
5	207,54	107,54	3,47	1,61	6,17	143,38	35,85	220,11	R\$ 149,84	R\$ 72,20	R\$ 77,64
6	272,22	172,22	5,74	3,34	10,21	229,63	57,41	277,51	R\$ 196,54	R\$ 72,20	R\$ 124,34
7	250,66	150,66	4,86	2,53	8,64	200,88	50,22	327,73	R\$ 180,98	R\$ 72,20	R\$ 108,78
8	188,67	88,67	2,86	1,25	5,08	118,23	29,56	357,29	R\$ 136,22	R\$ 72,20	R\$ 64,02
9	227,75	127,75	4,26	1,53	7,57	170,33	42,58	399,87	R\$ 164,44	R\$ 72,20	R\$ 92,24
10	188,67	88,67	2,86	0,83	5,08	118,23	29,56	429,43	R\$ 136,22	R\$ 72,20	R\$ 64,02
11	210,23	110,23	3,67	0,88	6,53	146,98	36,74	466,17	R\$ 151,79	R\$ 72,20	R\$ 79,59
12	283,00	183,00	5,90	1,28	10,49	244,00	61,00	527,17	R\$ 204,33	R\$ 72,20	R\$ 132,13
	2781,52	1581,52	4,34	1,40		2108,70		3482,33	RS 2.008,26		RS 1.141,86

Com a utilização de um sistema misto (SFCR + SAS) para suprimento de energia da residência, pode-se verificar que o valor do investimento sofre algumas variações, devido às opções de coletor solar definidas. Conforme o item 3.3.4, foi realizado a avaliação entre as duas tecnologias de SAS.

Na Tab. 9, são apresentados os valores de investimento inicial para compra e instalação de um SFCR para suprimento de uma parte da energia elétrica projetada para futura residência.

Tabela 9 – Valores de investimento para o SFCR (com redução na demanda energética da residência).

Descrição componentes - FV	Valor unitário	Quant	Total (R\$)
Painel solar Junko solar (315 Wp)	R\$ 700,00	4,00	R\$ 2.800,00
Inversor Grid-Tie 1,6Kw sem WI-FI B&B Power - SF1600TL	R\$ 3.600,00	1	R\$ 3.600,00
Componentes elétricos (disjuntor, DPS, painel)	R\$ 400,00	1	R\$ 400,00
Condutores	R\$ 1,80	150	R\$ 270,00
Medidor	R\$ 620,00	1	R\$ 620,00
Estrutura Metálica	R\$ 750,00	1	R\$ 750,00
Serviço instalação (10%)	R\$ 844,00		R\$ 844,00
TOTAL			R\$ 9.284,00

Os valores de investimento iniciais para SAS, comparando a utilização de coletores solar a vácuo ou coletores solar planos são apresentados na Tab. 10. Como pode ser visto o SAS com coletores a vácuo possui valor de investimento superior em relação aos coletores de placa plana.

Tabela 10 – Valores de investimento para o SAS.

Descrição componentes - SAS	Coletor à Vacuo			Coletor placa plana		
	Valor unitário	Quant	Total (R\$)	Valor unitário	Quant	Total (R\$)
Coletor	R\$ 2.130,00	2	R\$ 4.260,00	R\$ 1.240,00	3	R\$ 3.720,00
Boiler 500 litros	R\$ 2.900,00	1	R\$ 2.900,00	R\$ 2.900,00	1	R\$ 2.900,00
Tubulações	R\$ 400,00	1	R\$ 400,00	R\$ 400,00	1	R\$ 400,00
			R\$ -			R\$ -
			R\$ -			R\$ -
			R\$ -			R\$ -
Serviço instalação (20%)	R\$ 1.512,00		R\$ 1.512,00	R\$ 1.404,00		R\$ 1.404,00
TOTAL			R\$ 9.072,00			R\$ 8.424,00

Com relação a análise de viabilidade do sistema híbrido composto de SFCR e SAS, optou-se em realizar um comparativo entre os sistemas de aquecimento solar a vácuo ou com coletor plano. Para efeitos de avaliação do retorno do investimento, tem-se:

- Sistema híbrido (SFCR + SAS com coletores a vácuo) = total investimento R\$ 18.356,00 (*payback* simples = 6,33 anos);
- Sistema híbrido (SFCR + SAS com coletores de placa plana) = total investimento R\$ 17.708,00 (*payback* simples = 6,10 anos).

Entretanto, uma observação importante sobre o fornecimento de água quente para chuveiros e torneira elétrica via sistema de aquecimento solar é a necessidade de manter uma ligação elétrica principalmente para utilização nos chuveiros, pois em períodos de pouca iluminação solar, como os meses de inverno poderá ser necessária à utilização do aquecimento elétrico dos chuveiros via rede elétrica, aumentando consequentemente o consumo elétrico e alongando o retorno do investimento.

Quanto aos resultados apresentados dos sistemas de aproveitamento solar para a residência familiar planejada, sem considerar os gastos com manutenção, pode-se considerar o SFCR sem a utilização complementar de SAS seja ele com coletores solar planos ou evacuados como a melhor escolha para aplicação na futura residência, mesmo com tempo de retorno de investimento superior aos dois outros cenários analisados, o SFCR pode ser considerado mais vantajoso principalmente pelos seguintes pontos:

- Utilização do sistema de compensação de energia/crédito (RN 482/2012);
- Sistema modulares que podem ser expandidos ou realocados, com custos menores em relação aos SAS;
- Menores gastos na instalação dos mesmos em relação aos SAS (sem intervenções civis, tubulações, acessórios);

Desta forma, optou-se em utilizar na futura residência um sistema fotovoltaico conectado a rede, para suprir a demanda de energia necessária incluindo os equipamentos elétricos de aquecimento de água quente que possuem maior consumo energético.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada uma análise de sistemas de aproveitamento da energia solar em edificações residenciais, apresentando o detalhamento para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos interligados a rede elétrica, bem como o dimensionamento de sistemas de aquecimento solar utilizando coletores solares planos ou a vácuo, exemplificando e consolidando o mesmo em uma residência unifamiliar na cidade de Vera Cruz/RS.

A projeção de economia mensal destes sistemas tanto o SFCR fornecendo toda a demanda energética necessária para residência ou conforme apresentado utilizando um SAS, seja ele com a utilização de coletores solares planos ou evacuados, permitiu concluir que o critério econômico deve ser um dos fatores preponderante para escolha na utilização destes sistemas de aproveitamento de energia solar em residências familiares.

Por meio da formulação proposta de análise econômica, foi possível constatar que o tempo do retorno financeiro se mantém muito próximo entre as opções de utilização da energia solar apresentadas, considerando o perfil de consumo projetado para residência planejada e variáveis/premissas destacadas.

Nos resultados encontrados, o sistema fotovoltaico conectado a rede fornecendo toda a demanda de energia da residência teve um retorno no investimento de 6,64 anos ligeiramente superior em relação aos dois sistemas híbridos que utilizam sistemas de aquecimento solar como complemento ao SFSCR, retorno no investimento de 6,33 anos no SAS utilizando coletores solares a vácuo e 6,10 anos SAS utilizando coletores solares planos.

REFERÊNCIAS

- Andrade, C. A.; Zanesco, I., Knecht, M., 2016. Energia Solar Térmica, PUC, Porto Alegre.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida> >. Acesso em: 12 Set. 2017.
- AQUESOL. Aquecimento Solar. Disponível em: < <https://www.aquesol.com> > Acesso em 20 set. 2017.
- Arquiexpo. Disponível em: < <http://www.archiexpo.com/prod/viessmann/product-789-254099.html> > Acesso em 14 jan. 2018.
- CLIMATE-DATA. Dados Climáticos para Cidades Mundiais. Disponível em: < <https://pt.climate-data.org/location/43797> > Acesso em 16 set. 2017.
- CONFORTEC. Tecnologia e Soluções. Disponível em: < <http://www.confortec.com.br/> > Acesso em 15 set. 2017.
- Google Maps. Disponível em: < <https://www.google.com.br/maps/place/> > Acesso em 10 set. 2017.
- INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Lista de Coletores Solares. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/coletores-solares-banho-e-piscina.pdf> > Acesso em 16 set. 2017.
- Jinko Solar. Disponível em: < <https://www.jinkosolar.com/index.html?lan=pt> > Acesso em 9 set. 2017.
- NBR 15569. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto.
- Roaf, S., Fuentes, M., Thomas, S., 2003. Ecohouse - A casa ambientalmente sustentável, vol. 3.
- UFRGS. Laboratório de Energia Solar - LABSOL. Disponível em: < <http://www.solar.ufrgs.br/> > Acesso em 20 set. 2017.

ANALYSIS OF SOLAR ENERGY PERFORMANCE SYSTEMS FOR RESIDENTIAL BUILDINGS

Abstract. *This work is about a technical study for the use of solar energy. It focuses on photovoltaic systems and thermal energy in a family residential building planned for four persons. The current work aims to present the methodology for designing a photovoltaic solar system as well a thermal system to heat water and an analysis of the economic viability of installation. This work introduces technical issues and financial matters that are very relevant for implementing this system in small residential buildings in Brazil. Furthermore, this work presents the comparison of three scenarios using solar energy. Finally, it gives technical and financial data for implementing the on grid photovoltaic system to supply all the energy demands in the planned house and therefore reducing the electricity costs.*

Key words: *Solar Energy, Photovoltaics systems, Sustainable residential buildings.*